昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，December 2006，49(6)：976 - 981 ISSN 0454-6296

荔枝受荔枝蝽危害后对平腹小蜂趋性的影响

迟国梁，徐 涛，王建武[*]

（华南农业大学热带亚热带生态研究所，广州 510642）

摘要：采用 Y-型嗅觉仪测定了荔枝蝽 *Tessaratoma papillosa* 成虫危害后，糯米糍、桂味和三月红 3 个荔枝品种对平腹小蜂 *Anastatus japonicus* 行为的影响。结果发现：只有当超过 3 头荔枝蝽成虫危害时，糯米糍植株才对平腹小蜂具有较强的引诱效果；三月红健康植株本身对平腹小蜂的引诱效果就较强，对其进行机械损伤或者害虫取食后这种作用有一定程度的增强；而桂味健康植株与机械损伤植株、虫害植株对平腹小蜂行为的影响大致相同。随着荔枝蝽危害时间的延长，以上 3 个品种都在被害后第 2 天对平腹小蜂的引诱作用达到最强，此后这种效果逐渐降低。3 个品种中三月红植株在虫害后做出反应的速度最快。平腹小蜂对桂味植株的趋性一直处于相对较低的水平。

关键词：平腹小蜂；荔枝蝽；荔枝品种；行为反应

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2006)06-0976-06

Behavioral responses of *Anastatus japonicus* (Hymenoptera：Eupelmidae) to litchi plants damaged by the litchi stink bug，*Tessaratoma papillosa*

CHI Guo-Liang，XU Tao，WANG Jian-Wu[*] (Institute of Tropical and Subtropical Ecology，South China Agricultural University，Guangzhou 510642，China)

Abstract：The behavioral responses of *Anastatus japonicus* to Nuo Mi-Ci，Gui Wei and San Yue-Hong，the litchi varieties damaged by the litchi stink bug，*Tessaratoma papillosa* adults，were tested by Y-tube olfactometer. The results indicated that only if a Nuo Mi-Ci plant was harmed by more than 3 adults of *T. papillosa*，the attraction to *A. japonicus* was notable. While the attraction produced by healthy San Yue-Hong plants was per se distinct，the effect，however，could be boosted up to a higher extent after the plant was mechanically damaged by pests. The responses of *A. japonicus* to healthy Gui Wei plants，mechanical damaged ones and pests damaged ones were similar. The above-mentioned three varieties showed the highest attraction to *A. japonicus* in the second day after they were damaged by *T. papillosa* adults，and then the effects declined gradually. The defensive reaction of pests damaged San Yue-Hong was much faster than the others，while the taxis of *A. japonicus* to Gui Wei was always at a relatively low level.

Key words：*Anastatus japonicus*；*Tessaratoma papillosa*；litchi varieties；behavioral response

植物对植食性昆虫的防御策略包括两个方面：一方面是植物的组成抗虫性，另一方面则是植物的诱导抗虫性(娄永根和程家安，1997，2000)。植物的诱导抗虫性是指植物在遭受植食性昆虫攻击后所表现出来的一种抗虫特性(娄永根和程家安，2000)，它是植物与植食性昆虫长期协同进化的结果。这种抗性又可以分为两大类型，一类为直接抗虫性，即通过植物体内毒素、驱避剂、消化抑制剂等物质直接对植食性昆虫产生不利影响；另一类为间接抗虫性，植物可通过调节第三营养阶层而间接地防御植食性昆虫(刘芳等，2003)。植食性昆虫诱导的植物挥发物，可作为协同素，引诱植食性昆虫的天敌，这已属于一种比较普遍的现象。自 19 世纪 80 年代以来，已发现有 13 个科 20 多种植物遭虫害后能释放出挥发性协同素(Dicke *et al.*，1998)。如 Dicke 等(1990)发现，受二点叶螨 *Tetranychus urticae* 为害后的菜豆较未受

基金项目：美国洛克菲勒兄弟基金会(RBF02-149)；广东省科技攻关项目(B204，2002A208030201，2003A20505，2004B20501013)；广东省科技计划项目(2004A20505001)

作者简介：迟国梁，男，1978 年生，山东潍坊人，博士生，主要从事化学生态学和昆虫行为学研究，E-mail：gl_chi@sina.com

[*] 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：wangjw@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2006-03-20；接受日期 Accepted：2006-10-24

害的菜豆对捕食螨 *Phytoseiulus persimilis* 具有更强的引诱作用；玉米在受甜菜夜蛾攻击后，也增强了对寄生蜂 *Cotesia marginiventris* 的引诱作用（Takabayashi *et al.*，1994）。而且同一种植物不同品种对寄主蜂的引诱作用也不尽相同，如娄永根等证实，在供试的 6 个水稻品种中，稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 对浙 852 和 TN1 的趋性要显著强于对 Nabeshi 品种的趋性（娄永根和程家安，1996a）。那么，植物品种差异与其诱导抗虫性的关系如何呢？有作者认为，抗虫品种与抑制害虫种群的天敌因子具有协同作用（Smith，1992）。抗性品种可以减少杀虫剂的用量，有利于保护环境和天敌，而天敌能加强多种作物抗虫品种对害虫的控制作用（周强等，1997）。高春先等（1992）报道，抗性品种与天敌对稻飞虱 *Nilaparvata lugens* 种群有协同调节作用；Kartohardjono 和 Heinrichs（1984）以及 Mints 等（1986）的研究结果表明，拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* 或苍翅盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 在水稻抗虫品种上对稻飞虱和二点黑尾叶蝉 *Nephotettix virescens* 的捕食作用明显提高，中等抗虫性与捕食天敌相结合，可将这些害虫的种群水平控制在经济阈值以下。本文研究了荔枝蝽危害荔枝后，不同的荔枝品种对平腹小蜂行为的影响，旨在为分析荔枝品种抗性与荔枝诱导抗虫性之间的作用关系提供依据。

1　材料与方法

1.1　荔枝来源

选取荔枝抗性品种三月红和感性品种糯米糍、桂味的袋装嫁接苗进行实验，材料从华南农业大学园艺学院教学实验场和广东省农科院植保所获得。

1.2　供试虫源

荔枝蝽 *Tessaratoma papillosa* 的卵和成虫采自园艺学院教学实验场，在网室内 3 个荔枝品种的嫩梢上饲养。平腹小蜂 *Anastatus japonicus* 购自广东省昆虫研究所，采用柞蚕 *Antheraea pernyi* 卵在人工气候箱内饲养，定期用荔枝蝽卵复壮。

1.3　植株的处理

设 6 种处理：（1）健康含虫植株：将 3 头荔枝蝽雌成虫装在小纱网中，连同健康植株一同置于玻璃管（L80 cm，（94 mm）中；（2）危害去虫植株：将 3 头饥饿 24 h 的荔枝蝽雌成虫直接接到荔枝嫩叶上取食 15 min 后移去；（3）危害含虫植株Ⅰ：将 1 头荔枝蝽雌成虫接到荔枝嫩叶上取食为害 15 min 后实验；（4）危害含虫植株Ⅱ：将 3 头荔枝蝽雌成虫接到荔枝嫩叶上取食为害 15 min 后实验；（5）危害含虫植株Ⅲ：将 5 头荔枝蝽雌成虫接到荔枝嫩叶上取食为害 15 min 后实验；（6）机械损伤植株：分别取三月红、糯米糍和桂味品种抽出 3 片以上嫩叶的袋装嫁接苗（75 cm，冠幅约 10 cm），用解剖针在叶片上连续刺 200 次，24 h 后用于实验。

1.4　平腹小蜂对不同品种不同处理挥发物的行为反应

行为生测的实验组合：机械损伤植株-空白对照、机械损伤植株-健康植株、健康含虫植株-健康植株（桂味健康含虫植株-空白对照）、危害去虫植株-健康植株（桂味危害去虫植株-空白对照）、危害含虫植株Ⅰ-健康植株、危害含虫植株Ⅱ-健康植株、危害含虫植株Ⅲ-健康植株、危害含虫植株Ⅱ-机械损伤植株。将上述 6 种处理分别置于玻璃管（L80 cm，Φ94 mm）中，用 Teflon 管连接到 Y-型嗅觉仪的一臂和加湿瓶，在接另一臂和加湿瓶的玻璃管中分别放置对照，进行平腹小蜂的行为反应测定，测定方法见 1.6 节。

1.5　平腹小蜂对不同为害时间植株挥发物的行为反应

分别将三月红、糯米糍和桂味 3 个品种的袋装嫁接苗置于玻璃管（L80 cm，Φ94 mm）中，接入 5 头饥饿 24 h 的荔枝蝽雌成虫，待其取食嫩叶 15 min 后，开始计时，以同种健康植株为对照，进行平腹小蜂的选择行为测定，所用的实验装置和操作规程见 1.6 节，但测试虫量不同于 1.6 节。本实验中，每一供试品种测试 30 头平腹小蜂。实验时，为便于准确观察平腹小蜂的选择行为，每次实验只同时引入 10 头平腹小蜂雌蜂，观察 10 min，记录选择虫害植株所在处理臂的平腹小蜂的数量，分 3 次实验测试完一个供试品种。此后每天同一时间测试各供试品种一次，共测 4 天。每个品种设 2 个重复。

1.6　平腹小蜂行为反应测定方法

采用 Y-型嗅觉仪测定平腹小蜂的行为反应。Y-型嗅觉仪臂长 20 cm，内径 2.0 cm，两臂夹角 90°，柄长 20 cm，各接口均为标准 $24^{\#}$ 磨口。两个管臂的接口处用 Teflon 管分别接 1.3 和 1.5 节中的处理和对照。管柄接真空泵，调节抽气速率为 150 ~ 200 mL/min。抽入的空气首先经玻璃转子流量计进气口的活性炭过滤净化，再通过流量计以控制流量，然后经蒸馏水加湿瓶净化和湿润后进入各处理和对照。

将待测的平腹小蜂雌蜂逐头引入玻璃管（L5

cm，Φ1 cm）中，放入 Y-型嗅觉仪管柄的前端，记录进入两臂的昆虫数量和每头虫从释放到到达目的管臂所需的时间，每头虫观察 5 ~ 10 min。选择性标准为：当平腹小蜂爬至超过某臂的 3 cm 处，并能持续 1 min 以上者，则认为该蜂对此臂的挥发物做出了选择。寄生蜂在引入 10 min 后，没有做出选择的，则记为无反应。在实验过程中，为了消除管臂位置上的差异，每测完 8 头虫后，调换 Y-型嗅觉仪两臂的方向，并用 99% 的乙醇清洗，高温烘干。每处理测定 32 头平腹小蜂。

1.7 数据统计与分析方法

行为选择实验数据采用 χ^2 检验（Chi-Square Test）进行差异显著性分析，趋性变化实验数据采用邓肯氏新复极差法（DMRT）进行多重比较，统计软件为 SPSS 10.0 版。

2 结果与分析

2.1 平腹小蜂对糯米糍品种袋装苗在不同处理后挥发物的行为反应

平腹小蜂对糯米糍健康植株、机械损伤植株与空白之间的选择性无显著差异，对机械损伤植株、健康含虫植株、危害去虫植株以及危害含虫植株（1 头）与健康植株之间的选择性也无显著差异，而当有 3 头荔枝蝽成虫危害荔枝植株时，平腹小蜂显著趋向虫害植株，并且有随着危害虫量的增加，趋性增强的趋势，当危害虫量达到 5 头时，平腹小蜂对虫害植株与健康植株之间的选择性达到了极显著差异（$\chi^2 = 8.167$，$P < 0.01$）（图 1）。这些结果表明，糯米糍健康植株、机械损伤植株释放的挥发物对平腹小蜂没有明显的引诱活性。另外，健康含虫植株、危害去虫植株对平腹小蜂的引诱效果较危害含虫植株的差，可能是因为前两者释放的挥发物中有效组分的种类或数量不足，达不到平腹小蜂作出趋性反应的下限量，从而不能较好地吸引到平腹小蜂。

2.2 平腹小蜂对三月红品种袋装苗在不同处理后挥发物的行为反应

平腹小蜂对三月红机械损伤植株与健康植株、危害含虫植株（3 头）之间，以及健康植株与危害含虫植株（1 头，5 头）之间的选择性无显著差异，而对健康植株与空白对照、健康含虫植株、危害去虫植株以及危害含虫植株（3 头）之间的选择性存在显著差异，尤其是与空白对照相比较，平腹小蜂对机械损伤植株的趋性极强（$\chi^2 = 9.783$，$P < 0.01$）（图 2）。这表明，三月红健康植株本身释放的挥发物已经对平腹小蜂具有较强的吸引力。当在健康植株上接上荔枝蝽成虫或者荔枝蝽成虫危害植株后去虫，平腹小蜂的趋性显著增强，这说明荔枝与荔枝蝽两个营养级的信息物质对平腹小蜂的引诱作用是协同的。另外，随着危害虫量的增加，平腹小蜂对虫害植株的趋性并不是相应的增强，而是当危害虫量为 3 头时，趋性最强（$\chi^2 = 4.840$，$P < 0.05$）。

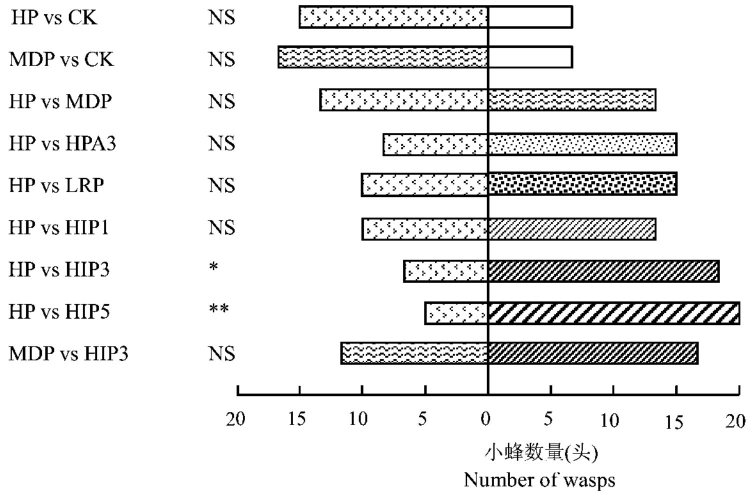

图 1 平腹小蜂对糯米糍植株在不同处理后挥发物的选择性

Fig. 1 Selectivity of *Anastatus japonicus* to volatiles of plants of Nuo Mi-Ci variety with different treatments

CK：**空白对照** Clean air；HP：**健康植株** Healthy plant；MDP：**机械损伤植株** Mechanically damaged plants；HPA3：**健康含虫（3 头）植株** Healthy plant with pest（3 wasps）；LRP：**危害去虫植株** Herbivore-induced plant without pest；HIPn：**危害含虫植株** Herbivore-induced plant with pest，“n”**荔枝蝽危害数量** Number of *T. papillosa* bugs. **：**处理与对照间的选择性差异极显著**（$P < 0.01$）Extremely significant difference in selectivity between the treatment and control（$P < 0.01$）；*：**处理与对照间的选择性差异显著**（$P < 0.05$）Significant difference in selectivity between the treatment and control（$P < 0.05$）；NS：**差异不显著**（χ^2 **检验**，$\alpha = 0.05$）No significant difference（χ^2 test，$\alpha = 0.05$）. **下同** The same below.

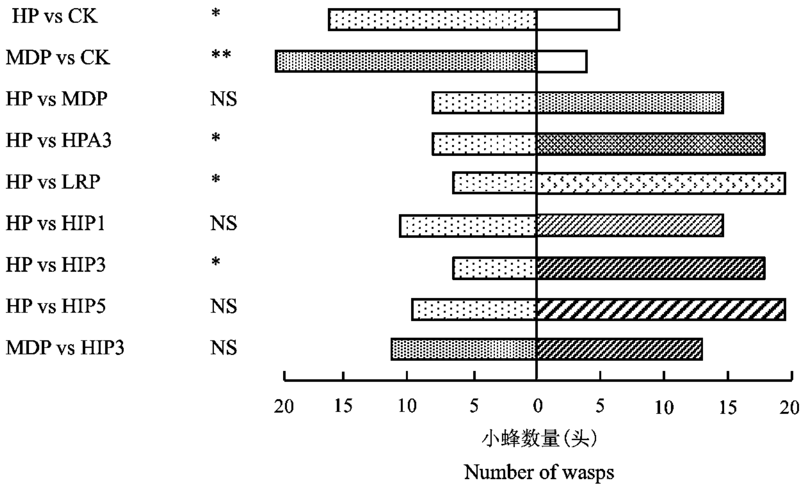

图 2　平腹小蜂对三月红植株在不同处理后挥发物的选择性

Fig. 2　Selectivity of *Anastatus japonicus* to volatiles of plants of San Yue-Hong variety with different treatments

2.3　平腹小蜂对桂味品种袋装苗在不同处理后挥发物的行为反应

与空白对照相比，桂味品种在机械损伤后或者在健康植株上接 3 头荔枝蝽成虫后，对平腹小蜂的引诱作用显著增强。但是，平腹小蜂对桂味健康植株、危害去虫植株的选择性与空白对照相比较，差异不显著；平腹小蜂对健康植株与机械损伤植株以及健康植株与危害含虫植株之间的选择性差异也不显著，而且随着危害虫量的增加，平腹小蜂对虫害植株的趋性也没有明显的提高（图 3），这可能是因为对植株的伤害较轻，受伤植株尚未释放引诱平腹小蜂的特异性组分，也可能是因为健康植株在机械损伤或者虫害后释放的挥发物量较少，达不到平腹小蜂的反应限，或者说桂味品种启动虫害诱导防御的速度较慢，从而没有引起平腹小蜂明显的趋性。

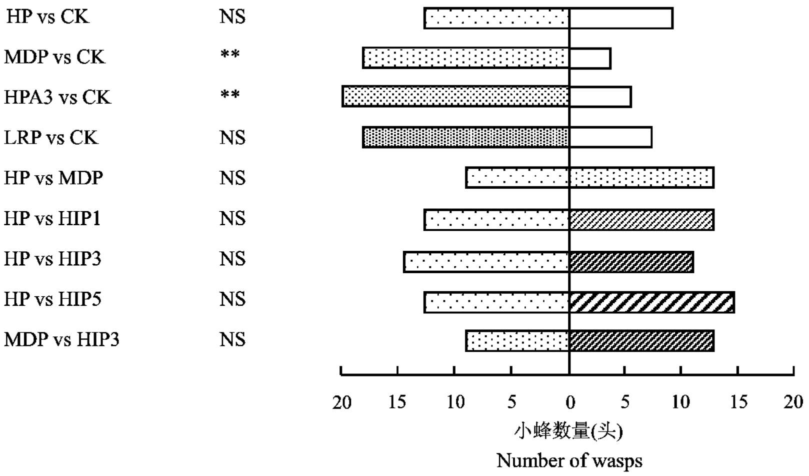

图 3　平腹小蜂对桂味植株在不同处理后挥发物的选择性

Fig. 3　Selectivity of *Anastatus japonicus* to volatiles of plants of Gui Wei variety with different treatments

2.4　平腹小蜂对不同为害时间植株挥发物的行为反应

糯米糍、三月红和桂味 3 个荔枝品种都是在被荔枝蝽成虫危害后第 2 天，对平腹小蜂的引诱效果达到最大值，说明此时，虫害植株释放的挥发物量最大，并且 3 个品种的变化都遵循着先升后降的规律。另外，三月红在被危害的当天，做出反应的速度最快，而其它两品种反应较慢。桂味在被害的过程中，对平腹小蜂的引诱效果始终处于较低的水平（图 4），这说明，桂味的虫害诱导防御没有三月红和糯米糍两品种的敏感。

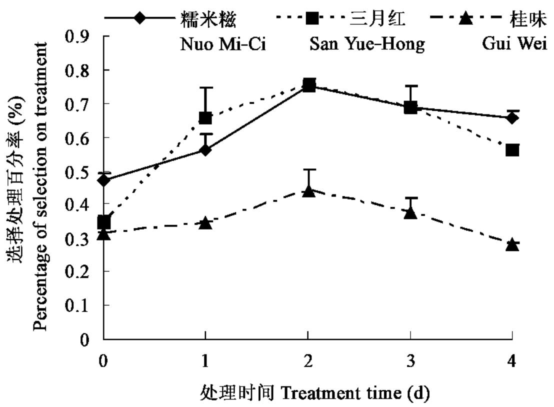

图 4 在不同时间平腹小蜂对荔枝虫害植株挥发物趋性的变化趋势

Fig. 4 The trend of taxis of *Anastatus japonicus* to volatiles of litchi plants damaged for different days

3 讨论

寄主植物在植食性昆虫取食为害时释放的挥发性化学物质在引诱寄生蜂对寄主栖境进行定向的过程中发挥着重要的作用。这些化学物质成分复杂，含量各异，并且组成和含量受多种生物因素和非生物因素的影响（Agelopoulos *et al*.，2000；Erbilgin and Raffa，2000；Kalberer *et al*.，2001）。同一种寄主植物不同品种，其虫害诱导挥发物的组成相往往不同（Takabayashi *et al*.，1995），因此，理论上讲对寄主蜂的引诱作用也不尽相同。娄永根等证实，稻飞虱诱导的水稻挥发物的活性和组分受水稻品种的影响（娄永根和程家安，1996b），也就是说，不同水稻品种在遭受稻飞虱危害后释放的虫害诱导挥发物不同。

三月红品种是荔枝的抗性品种，在田间表现出较强的抗虫性，害虫的为害相对较轻，有研究表明，这可能与三月红叶片的表皮细胞数目较少有关（周强等，2000），而糯米糍和桂味品种抗性偏弱。本研究发现，三月红健康植株释放的挥发物对平腹小蜂有明显的引诱效果，在机械损伤或荔枝蝽成虫为害后，这种效果进一步增强，并且当为害虫量达到 3 头时，效果最强；而糯米糍健康植株只有在超过 3 头荔枝蝽成虫为害时，平腹小蜂才表现出一定的趋性；随着为害虫量的增加，平腹小蜂对桂味虫害植株的趋性始终没有明显的提高。这说明是三月红品种在遭受荔枝蝽成虫危害后释放的挥发物对平腹小蜂有较强的引诱作用，换句话说，在抵御荔枝蝽成虫为害时，三月红抗性品种与平腹小蜂具有较强的协同作用。综上所述，荔枝品种抗性与其通过平腹小蜂发生作用的间接防御之间可能存在着一定的联合作用。但这一结论仍有待进一步考证，特别是应对荔枝抗性品种生理生化的变化与天敌的行为关系等方面进行研究，培育对平腹小蜂具有强引诱作用的抗性品种，应用其挥发性协同素，提早平腹小蜂在田间的迁入时间，增加迁入量，增强平腹小蜂对荔枝蝽的控制作用，从而达到抗性品种与天敌协同控害的目的，改善对荔枝蝽的治理。

参 考 文 献（References）

Agelopoulos NG，Chamberlain K，Pickett JA，2000. Factors affecting volatile emissions of intact potato plants，*Solanum tuberosum*：variability of quantities and stability of ratios. *J. Chem. Ecol*.，26（2）：497－511.

Dicke M，Sabelis MW，Takabayashi J，Bruin J，Posthumus MA，1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals：Prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol*.，16（11）：3 091－3 118.

Dicke M，Takabayashi J，Posthumus MA，Schütte C，Krips OE，1998. Plant-phytoseiid interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles：variation in production of cues and in responses of predatory mites. *Exp. Appl. Acar*.，22（6）：311－333.

Erbilgin N，Raffa KF，2000. Effects of host tree species on attractiveness of tunneling pine engravers，*Ips pini*（Coleoptera：Scolytidae），to conspecifics and insect predators. *J. Chem. Ecol*.，26（4）：823－840.

Gao CX，Bei YW，Gu XH，1992. The cooperated influence of resistant rice variety and natural enemy on the population of *Nilaparvata lugens*. *Journal of Plant Protection*，19（4）：317－322.［高春先，贝亚维，顾秀慧，1992. 抗性品种与天敌对褐飞虱种群的协同调节作用. 植物保护学报，19（4）：317－322］

Kalberer NM，Turlings TCJ，Rahier M，2001. Attraction of a leaf beetle（*Oreina cacaliae*）to damaged host plants. *J. Chem. Ecol*.，27（4）：647－661.

Kartohardjono A，Heinrichs EA，1984. Populations of the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*（Stål）（Homoptera：Delphacidae），and its predators on rice varieties with different levels of resistance. *Environ. Entomol*.，13（2）：359－365.

Liu F，Lou YG，Cheng JA，2003. Herbivory insect induced plant volatiles：evolutionary products of plant-herbivore-natural enemy interactions. *Entomological Knowledge*，40（6）：481－486.［刘芳，娄永根，程家安，2003. 虫害诱导的植物挥发物：植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物. 昆虫知识，40（6）：481－486］

Lou YG，Cheng JA，1996a. Behavioral response of *Anogrus nilaparvatae* Pang *et* Wang to the volatile of rice varieties. *Entomological Journal of East China*，5（1）：60－64.［娄永根，程家安，1996a. 稻虱缨小蜂对水稻品种挥发物的行为反应. 华东昆虫学报，5（1）：60－64］

Lou YG，Cheng JA，1996b. Evolution and ecology of allelochemicals and its prospective for application in IPM. In：Zhang ZL，Pu YF，Wu JW eds.

Proceedings of the National Symposium on IPM in China. Beijing: China Agriculture Press. 136－143.［娄永根，程家安，1996b. 信息化合物的发展与生态学以及在IPM中的应用前景. 见：张芝利，朴永范，吴钜文 主编. 中国有害生物综合治理论文集. 北京：中国农业出版社. 136－143］

Lou YG，Cheng JA，1997. Induced plant resistance to phytophagous insects. *Acta Entomologica Sinica*，40（3）：320－331.［娄永根，程家安，1997. 植物的诱导抗虫性. 昆虫学报，40（3）：320－331］

Lou YG，Cheng JA，2000. Herbivore-induced plant volatiles: primary characteristics，ecological，functions and its release mechanism. *Acta Ecologica Sinica*，20（6）：1 097－1 106.［娄永根，程家安，2000. 虫害诱导的植物挥发物：基本特性、生态学功能及释放机制. 生态学报，20（6）：1 097－1 106］

Myint MM，Rapusas HR，Heinrichs EA，1986. Integration of varietal resistance and predation for the management of *Nephotettix virescens*（Homoptera：Cicadellidae）populations on rice. *Crop Prot.*，5（4）：259－265.

Smith C（Translated by Feng MG），1992. The Research and Application of Plant Resistance to Insects. Beijing：China Agricultural Science and Technology Press. 111－120.［查. 史密斯著（冯明光译），1992. 植物抗虫性的研究与应用. 北京：中国农业科技出版社. 111－120］

Takabayashi J，Dicke M，Posthumus MA，1994. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions：Variation caused by biotic and abiotic factors. *J. Chem. Ecol.*，20（6）：1 329－1 354.

Takabayashi J，Takahashi S，Dicke M，Posthumus MA，1995. Developmental stage of herbvore *Pseudaletia separata* affects production of herbivore induced synomone by corn plants. *J. Chem. Ecol.*，21（3）：273－287.

Zhou Q，Zhang GR，Zhang WQ，Gu DX，1997. Effects of resistant rice variety on perdatory ability of *Sogatella furcifera*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*，36（Suppl.）：130－133.［周强，张古忍，张文庆，古德祥，1997. 水稻抗性品种对天敌捕食白背飞虱效能的影响. 中山大学学报，36（增刊）：130－133］

Zhou Q，Wang JW，Luo SM，2000. The leaf structure characteristics and chitinase activity of Shan Yuehong resistance to litchi gall midge. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*，39：6（A）：242－245.［周强，王建武，骆世明，2000. 三月红荔枝品种抗荔枝叶瘿蚊机制－叶片形态解剖特征与几丁质酶活性分析. 中山大学学报，39：6（A）：242－245］

（责任编辑：袁德成）